

Caso de Estudio - Máquinas Eléctricas

Samuel Quiroz^a, Santiago Meneses^a

^aFacultad de Ingenierías, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín 050028, Colombia

Keywords: Transformador, Eficiencia, Costos, Motor, Corriente.

1. Introducción

En el presente informe se analiza la eficiencia y el rendimiento de los motores y transformadores en una empresa industrial. La disposición de las plantas y los motores trifásicos conectados a 220V, junto con las necesidades energéticas para servicios auxiliares, iluminación y sistemas de cómputo. Realizando un análisis técnico y financiero, se da la posibilidad de reemplazar parte de los motores existentes, mejorando la eficiencia energética y reduciendo los costos operativos, además, se realiza la proyección de recuperación de inversión en función de los costos ahorrados.

La empresa opera su sistema eléctrico durante 16 horas al día de lunes a sábado, y en el mes de diciembre reduce su actividad a 15 días debido a vacaciones colectivas. Adicionalmente, cuenta con sistemas para compensar la energía reactiva, lo cual es un factor importante a considerar en la evaluación del consumo energético.

Este estudio tiene como objetivo principal valorar el consumo de energía y los costos asociados bajo las condiciones actuales, y proponer mejoras mediante la sustitución de motores. Para ello, se llevará a cabo un análisis detallado que incluye:

- **Valoración del Consumo Energético Actual y Costos Anuales:** Se evaluará el consumo de energía después del transformador, discriminando y valorando las pérdidas en motores y conductores. Este análisis permitirá comprender el impacto de los actuales motores y el sistema eléctrico en el consumo total de la empresa.
- **Valoración con Nuevos Motores a Diferentes Tensiones:** Se realizará una nueva valoración considerando el reemplazo de los motores actuales y operándolos a 220V y 380V. Este análisis comparativo permitirá identificar las posibles mejoras en eficiencia y ahorro energético.
- **Estimación del Ahorro Energético y Económico Anual:** Se calculará el ahorro de energía en KWh y

el ahorro económico anual resultante del cambio de motores, descontando el costo de los motores nuevos.

- **Proyección de recuperación de inversión inicial:** Se elaborará una proyección del tiempo en el que se retribuye la inversión inicial realizada en el cambio de los motores, permitiendo detallar en el tiempo, el comportamiento de la inversión económica en función del ahorro en gastos.
- **Especificación de Parámetros de Motores:** Se detallarán la velocidad real y sincrónica de cada motor, el deslizamiento y el torque útil en el eje de cada motor. Estos parámetros técnicos son cruciales para evaluar el desempeño de los nuevos motores.
- **Valoración Técnica y Económica del Cambio de Transformador:** Se adicionará una valoración técnica y económica del cambio del transformador considerando una conexión de entrada a 44KV, tras la sustitución de los motores. Esta evaluación incluirá los beneficios potenciales y los costos asociados a dicha modificación.
- **Conclusión y Recomendación a la Gerencia:** Finalmente, se concluirá con un argumento fundamentado para recomendar o no la implementación de los proyectos propuestos, basándose en el análisis técnico y económico realizado.

Para llevar a cabo este análisis, se tomarán en cuenta tarifas promedio de energía para una empresa del sector industrial en el 2024 y se utilizarán datos de catálogos de fabricantes para obtener especificaciones y precios de motores y transformadores nuevos.

El objetivo de este informe es proporcionar una evaluación exhaustiva que permita a la gerencia tomar decisiones informadas sobre posibles mejoras en el sistema eléctrico de la empresa, optimizando el consumo energético y reduciendo costos operativos de manera sostenible.

2. Marco Teórico

En la siguiente sesión se consignan las diferentes ecuaciones matemáticas a utilizar durante la resolución de este caso de estudio.

*Corresponding author

Email addresses: samuelquiroz280631@correo.itm.edu.co (Samuel Quiroz), santiagomeneses239971@correo.itm.edu.co (Santiago Meneses)

$$P_{Entrada} = \frac{P_{Salida(HP)} * 746 * FC_{Max}}{\text{Eficiencia}} \quad (1)$$

$$P_{Salida} = P_{Salida(HP)} * 746 * FC_{Max} \quad (2)$$

$$P_{Reactiva220V} = 220 * Corriente_{220V} * \sin(\Theta) \quad (3)$$

$$P_{Reactiva220V} = 220 * Corriente_{380V} * \cos(\Theta) \quad (4)$$

$$P_{perdidas} = P_{entrada} - P_{salida} \quad (5)$$

$$Corriente_{220V} = \frac{P_{Entrada}}{\sqrt{3} * 220 * FP} \quad (6)$$

$$Corriente_{380V} = \frac{P_{Entrada}}{\sqrt{3} * 380 * FP} \quad (7)$$

$$Corriente_{220V+25\%} = Corriente_{220V} * 1.25 \quad (8)$$

$$Corriente_{380V+25\%} = Corriente_{380V} * 1.25 \quad (9)$$

$$n_s = 3600 \quad [RPM] \quad (10)$$

$$S_{Deslizamiento} = n_s - n_r \quad (11)$$

$$S(\%)_{Deslizamiento} = \frac{n_s - n_r}{n_s} * 100 \quad (12)$$

$$Torque(N.m) = \frac{P_{Salida(HP)} * 746 * FC_{Max}}{(n_r 2\pi) / 60} \quad (13)$$

$$\theta^\circ = \cos^{-1}(FP) \quad (14)$$

$$\text{Real Corriente 220V} = Corriente_{220V+25\%} * \cos(\theta) \quad (15)$$

$$\text{Imaginaria Corriente 220V} = Corriente_{220V+25\%} * \sin(\theta) \quad (16)$$

$$\text{Real Corriente 380V} = Corriente_{380V+25\%} * \cos(\theta) \quad (17)$$

$$\text{Imaginaria Corriente 380V} = Corriente_{380V+25\%} * \sin(\theta) \quad (18)$$

$$\text{Imaginaria Corriente 380V} = Corriente_{380V+25\%} * \sin(\theta) \quad (19)$$

$$kW/año = \frac{P_{Entrada}}{1000} * TOTALHORAS \quad (20)$$

$$\text{Costo/año} = kW/año * (\text{TARIFA NIVEL 2 OR NIVEL 3}) \quad (21)$$

3. Desarrollo

3.1. Tarifas energeticas y tiempos de operacion

Según lo descrito en las particularidades del caso de estudio, la fabrica mantiene sus operaciones de lunes a sábado durante 16 horas al día, lo cual equivaldría a un total de 26 días al mes o 384 horas. Además, en diciembre la dinámica cambia, llevando a cabo operación únicamente por 15 días durante las mismas 16 horas, teniendo así, 240 horas durante este mes. En base a lo anterior, se tiene que durante un año, hay operación continua durante 11 meses, arrojando así un total de 4224 horas adicionales a las 240 horas de la operación pausada del mes de diciembre, teniendo un total de 4464 horas de operación durante un año.

La compañía prestadora del servicio eléctrico EPM [1], determina los diferentes niveles de costo por kilovatio hora de energía eléctrica en base al voltaje al que se realiza la conexión. Para este caso, estos valores se presentan en la siguiente tabla.

Table 1: Valores de precio a pagar según el nivel de consumo con transformador 13200/220(NIVEL 2) o 44000/220(NIVEL 3).

	Transformador	Precio
NIVEL 2	13200/220	916.38 \$
NIVEL 3	44000/220	800.18 \$

Inicialmente se tiene una disposición de motores eléctricos trifásicos de inducción, los cuales tienen especificado su potencia en HP, porcentaje de eficiencia, factor de carga máximo, velocidad síncrona de giro y su factor de potencia. Utilizando los diferentes valores correspondientes al motor 1 de la planta 1 los cuales se encuentran en la Tabla 7, se realizarán todos los cálculos y análisis técnicos, estos cálculos se replicarán de igual forma, al resto de motores de las diferentes plantas, utilizando el lenguaje de programación Python. Para los cálculos presentados antes del cambio de motores se puede encontrar la información en [2], así mismo para los cambios efectuados luego del cambio de los motores la información se encuentra en [3]. La información completa del caso de estudio se encuentra disponible en [4].

3.2. Calculos de potencias y corrientes

Teniendo en cuenta, el factor de carga del motor y su eficiencia, se realiza el cálculo de la potencia de entrada, como se muestra a continuación.

$$P_{EntradaMotor1} = \frac{30 * 746 * 0,8}{0,7} = 25577.14W \quad (22)$$

Luego, se calcula la potencia de salida del motor, utilizando la Ecuación 2.

$$P_{SalidaMotor1} = 30 * 746 * 0,8 = 17904.0W \quad (23)$$

Una vez realizados los cálculos de la potencia que ingresa al motor, y la que esté suministra hacia la carga mecánica, se realiza el cálculo de las pérdidas de potencia del motor utilizando la Ecuación 5.

$$P_{perdidas} = 25577.14W - 17904.0W = 7673.14W \quad (24)$$

$$P_{perdidas} = 25577.14W - 17904.0W = 7673.14W \quad (25)$$

Con el fin de determinar el mejor escenario posible para la eficiencia energética de los diferentes motores, se construyen los cálculos de corrientes, potencias reactivas y aparentes, teniendo como base un voltaje de operación de 220V AC y 380 V AC. Para la corriente bajo un voltaje de 220V AC se utiliza la formula 6, tal como se indica a continuación.

$$Corriente_{220V} = \frac{25577.14W}{\sqrt{3} * 220V * 0.74} = 90,70A \quad (26)$$

$$Corriente_{380V} = \frac{25577.14W}{\sqrt{3} * 380V * 0.74} = 52,51A \quad (27)$$

Utilizando el factor de potencia, es posible obtener el ángulo, el cual se utilizará a continuación para calcular las potencias reactivas y aparentes del motor, por medio de las Ecuaciones 3 y 4

$$P_{Reactiva} = 220 * 90,70A * \sin(\Theta) = 13422,11VAR \quad (28)$$

$$P_{Aparente} = 380 * 52,51A * \cos(\Theta) = 34563,70VA \quad (29)$$

En este punto ya es posible calcular el consumo de corriente para cada una de las diferentes plantas realizando la suma de forma fasorial de las corrientes de los motores, esto se realiza obteniendo el ángulo a partir del factor de potencia y descomponiendo la corriente de los motores en sus componentes rectangulares, para luego ser sumada.

Para identificar las corrientes por planta es necesario definir cómo se calculan dichas corrientes a 220V o 380V, para ello se tienen las siguientes definiciones que se aplican para la planta 1, pero también aplican para todas las plantas análogamente, cabe aclarar las siguientes ecuaciones representan el modo de trabajo sin cambiar los motores, pero de igual manera se expresan las ecuaciones para cuando se cambian los motores.

- **Para 220V Corriente Planta 1 Normal**(Sin aumentar 25% para dimensionamiento del cable)

$$A = (Planta_{1RealCorriente220V})^2 + (Planta_{1ImaginariaCorriente220V})^2 \quad (30)$$

$$Corriente\ Planta\ 1\ 220V\ Normal = \sqrt{A}$$

- **Para 380V Corriente Planta 1 Normal**(Sin aumentar 25% para dimensionamiento del cable)

$$B = (Planta_{1RealCorriente380V})^2 + (Planta_{1ImaginariaCorriente380V})^2 \quad (31)$$

$$Corriente\ Planta\ 1\ 380V\ Normal = \sqrt{B}$$

- Debido a que existen consumos auxiliares, se tiene que estos consumen 480kW, se puede partir de que poseen un factor de potencia de FP = 1, por lo tanto es pertinente calcular su consumo de corriente a 220V que es al voltaje al cual se encuentran conectados, suponiendo que son cargas puramente resistivas, estas no cuentan con desfase por lo tanto no poseen parte imaginaria, por lo que:

$$FP_{aux} = 1$$

$$Corriente_{Auxiliares} = \frac{480kW}{(\sqrt{3} * 220 * FP_{aux})}$$

Por lo que la Magnitud de corriente a 220V para los Auxiliares es de: 1259.67 A

Los resultados a las Ecuaciones (3.2) y (3.2), se pueden contemplar en la Tabla 5, del mismo modo mencionado se pueden extraer los resultados para cuando se realiza el cambio de motores, dichos resultados se encuentran consignados en la tabla 6. Así mismo se pueden definir los cálculos necesarios al realizar un aumento del 25% sobre la corriente por planta que es requerida según la norma NTC-2050 para dimensionar el calibre del cable.

Se prosigue, con el calculo de las corrientes

3.3. Selección de calibre de cable según la corriente necesaria por planta.

Dadas las corrientes por planta con un sobre dimensionamiento del 25% sobre su valor real requerido, se procede a extraer el calibre del cable requerido para que se soporte dicha corriente, es de resaltar que según la planta que se vaya a alimentar las corrientes pueden ser tan altas que los calibres comerciales no pueden soportar dicha corriente en su totalidad, por lo cual es necesario usar hasta 2 o más cables en paralelo, posteriormente habrá un tablero eléctrico que se encargará de unificar estas líneas en una sola por cada fase debido a que son motores trifásicos. Teniendo en cuenta lo anterior se pueden definir dos tipos de cables diferentes, de cobre y aluminio, ambos presentan diferentes resistencias por kilometro, pero según el caso de estudio planteado, las plantas se encuentran a distancias inferiores a esta, por lo que es necesario realizar algunos ajustes en función de la distancia.

A continuación se describe el procedimiento de cálculos para la planta 1 antes de cambiar los motores, según la Imagen 1, dado un calibre de 500 mm2 se tiene una resistencia DC de Ohm/km para un cable de cobre, se tiene que posee una resistencia de 0.0366 Ohm por lo que si se requiere de una

corriente determinada para alimentar cada planta a 220V o 380V es necesario aplicar una regla de 3 inversa para extraer el valor de la resistencia de pérdida a partir de la Imagen 2, también es de anotar que es posible alimentar con un solo cable a partir de suma de corrientes, es decir, con corrientes menores por cada cable que se use para complementar la corriente objetivo a usar.

- El grosor del cable necesario para 380 A es de 253 mm^2 , por lo cual la regla de 3 inversa necesaria para obtener la resistencia de Ω/km es de 0.0723Ω .

$$R \text{ km P1 220} = (500/253) * 0.0366$$

- Ahora bien, la Planta 1 se encuentra a 200 metros del transformador, por lo cual la resistencia de pérdida será menor, esta equivale a 0.01446Ω .

$$\text{Resistencia Final P1 220} = (200 * R \text{ km P1 220})/1000$$

La pérdida asociada a la corriente a 220V para la planta 1 de una sola línea son de 2540.88 W , para ello se requiere de calcular el Paralelo de la resistencia por la distancia de la planta 1 al transformador a 220V y consecuente a ello se calcula la pérdida sobre dicha planta con una sola línea o fase del motor.

$$\text{Paralelo } R \text{ km P1 220} = \frac{\text{Resistencia Final P1 220}}{2}$$

$$\text{Pérdida P1 220} = \text{Corriente Planta 1 220V Normal}^2 * \dots$$

$$(\text{Paralelo } R \text{ km P1 220})$$

Con lo anterior, se obtiene que la pérdida asociada a la corriente e a 220V para la planta 1 para las 3 líneas son de 7622.64 W .

$$\text{Pérdida P1 220 Tri} = 3 * (\text{Pérdida P1 220})$$

Table 28.1 – Ampacities of insulated conductors in Ampere

Wire size		60 °C		75 °C	
AWG	mm ²	Copper	Aluminium	Copper	Aluminium
14	2.1	15	-	15	-
12	3.3	20	15	20	15
10	5.3	30	25	30	25
8	8.4	40	30	50	40
6	13.3	55	40	65	50
4	21.2	70	55	85	65
3	26.7	85	65	100	75
2	33.6	95	75	115	90
1	42.4	110	85	130	100
1/0	53.5	-	-	150	120
2/0	67.4	-	-	175	135
3/0	85.0	-	-	200	155
4/0	107.2	-	-	230	180
250 kcmil	127	-	-	255	205
300	152	-	-	285	230
350	177	-	-	310	250
400	203	-	-	335	270
500	253	-	-	380	310
600	304	-	-	420	340
700	355	-	-	460	375
750	380	-	-	475	385
800	405	-	-	490	395
900	456	-	-	520	425
1000	506	-	-	545	445
1250	633	-	-	590	485
1500	760	-	-	625	520
1750	887	-	-	650	545
2000	1013	-	-	665	560

Figure 1: Calibre del cable según la corriente que soporta dado el material.

RESISTENCIA DC (ohm/km) MÁXIMA A 20°C			RESISTENCIA DC (ohm/km) MÁXIMA A 20°C			Equivalencia	
Calibre	ASTM B8	ASTM B801	Calibre	IEC 60228	IEC 60228	% Corriente	Concepto
AWG/kcmil	Cobre	Aluminio	mm ²	Cobre	Aluminio		
18	21.9	-	1	18.1	-	110%	Acceptable, superior
16	13.7	-	1.5	12.1	-	106%	Acceptable, superior
14	8.63	-	2.5	7.41	-	108%	Acceptable, superior
12	5.46	-	4	4.61	-	109%	Acceptable, superior
10	3.42	-	6	3.08	-	105%	Acceptable, superior
8	2.14	3.52	10	1.83	3.08	108%	Acceptable, superior
6	1.35	2.21	16	1.15	1.91	108%	Acceptable, superior
4	0.847	1.39	25	0.727	1.20	108%	Acceptable, superior
2	0.532	0.874	35	0.524	0.868	101%	Exacta
1	0.421	0.693	50	0.387	0.641	104%	Acceptable, superior
1/0	0.335	0.549	50	0.387	0.641	93%	Inferior
2/0	0.266	0.436	70	0.268	0.443	99%	Exacta
3/0	0.211	0.346	95	0.193	0.320	104%	Acceptable, superior
4/0	0.167	0.274	120	0.153	0.253	104%	Acceptable, superior
250	0.142	0.232	120	0.153	0.253	96%	Casi Exacta
300	0.118	0.193	150	0.124	0.206	97%	Casi Exacta
350	0.1011	0.166	185	0.0991	0.164	101%	Exacta
500	0.0709	0.116	240	0.0754	0.125	97%	Casi Exacta
750	0.0471	0.0773	400	0.0470	0.0778	100%	Exacta
1000	0.0355	0.0579	500	0.0366	0.061	98%	Casi Exacta

Figure 2: Calibre del cable y resistencia de pérdida por km, según el material.

Por lo que para la planta 1:

- La corriente necesaria es de 740.86 A para la planta 1, por lo que se necesita de dos cables que soporten 380 A de cobre, el cual corresponde a un valor de 500 kcmil .

3.4. Criterios de cambio

Se puede observar que algunos de los motores presentes inicialmente, contienen valores de eficiencia y factor máximo de carga, no acordes a la realidad industrial actual o se encuentran sobre dimensionados para su aplicación, esto hace que sea necesario, analizar un posible cambio de los mismos, buscando alternativas en el mercado que puedan suplir las necesidades mecánicas, aportando mejores valores de eficiencia energética. Realizar una gestión de cambio de forma eficiente, permite disminuir los costos operativos del motor, aumentando las ganancias de la operación.

Para realizar el cambio de motor, se buscaron aquellos motores cuyo factor de carga máximo, estuviera por debajo del 80% o que presentaran una eficiencia menor al 90% ; estos criterios determinaron que, del total presente de 25 motores, se realizara el cambio en 23 de ellos. Para realizar el cambio adecuado, se recurre al fabricante SIEMENS que presenta un catalogo [5], con motores de inducción en donde, además de otras cosas, nos indica su eficiencia, potencia y coste económico, valores que ayudan a explorar el panorama de los motores que se podrían cambiar. Con el fin de realizar un ejemplo, se tomo el motor 1 de la planta 1, cuyos valores se encuentran presentes en la Tabla 7

Para este motor se observa que su eficiencia se encuentra en 70%, valor por debajo del criterio de cambio de la eficiencia, por lo que este motor aplica para cambio. En el catalogo de motores que presenta el fabricante, se encuentra un motor que mecánicamente cumple las demandas actuales y que, además, su valor de eficiencia aumenta a un 0,917%. Este cambio en la eficiencia del nuevo motor, aporta de forma directa, una disminución en la potencia que requiere el motor para realizar las mismas labores mecánicas, pasando de 25577 W a 19524 W.

La disminución en potencia del motor, aporta de forma significativa a la reducción de los costes operativos del mismo, que se tienen presentes por año, en donde anteriormente operar el motor con eficiencia del 70% al año se requería un total de 114176 KW/H con un valor de \$ 104.628.938 pesos Colombianos, mientras que, operar el nuevo motor conlleva 87157 KW/H durante un año con un valor de \$ 79.869.418 pesos Colombianos. Este cambio en el costo de operación se traduce en un ahorro anual de \$ 24.759.519 lo cual distribuido mensualmente indica \$ 2.063.293. Por otro lado, la compra de este motor, según el catalogo del fabricante, presenta un costo de \$ 10.277.452 lo cual nos indica que, con el ahorro realizado en gastos operativos por mes, el valor inicial de la inversión de compra para este motor, se retribuye en 5 meses, otorgando a la empresa, a partir del 5 mes, un ahorro en costos lo cual se traduce en aumento de ganancias. A continuación se enseña una grafica referente a este cálculo.

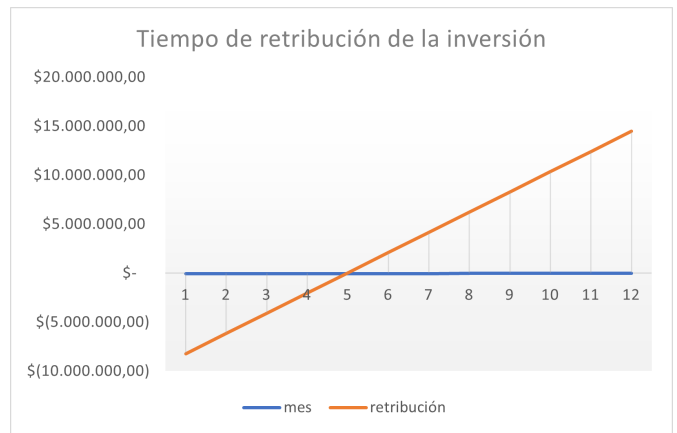


Figure 3: Grafico de retribución de la inversion inicial sobre el motor 1

3.5. Potencia a la entrada del transformador

Antes de realizar los cambios de los diferentes motores, la industria presentaba un costo dependiendo del voltaje de operación y el nivel tarifario en donde se encontrará; El nivel tarifario indica el voltaje al cual la compañía de transmisión de energía le suministra la energía a la empresa, estos costos se encuentran adjuntos en la Tabla 1 donde se especifica según el nivel, el costo por KW/H. En la Tabla 2, se especifican los costos para los diferentes valores de voltaje de salida del transformador y niveles tarifarios.

Por otro lado, el cambio de motores conlleva un ahorro significativo en cuanto a la potencia que es requerida,

repercutiendo de manera positiva en los costos de operación de la empresa, Estos valores se especifican en la siguiente tabla.

Table 2: Costos de operación antes del cambio de motores según la tarifa para nivel 2 o nivel 3, dado un voltaje de alimentación de 220V o 380V sobre las plantas.

Voltaje	Potencia (W)	Nivel	Costo (\$)
220	1,953,406.01	Nivel 2	\$ 7,990,837,664
380	1,908,365.56	Nivel 2	\$ 7,806,589,768
220	1,953,406.01	Nivel 3	\$ 6,977,573,149
380	1,908,365.56	Nivel 3	\$ 6,816,688,492

Table 3: Costos de operación después del cambio de motores según la tarifa para nivel 2 o nivel 3, dado un voltaje de alimentación de 220V o 380V sobre las plantas.

Voltaje	Potencia (W)	Nivel	Costo (\$)
220	1,880,163.24	Nivel 2	\$ 7,691,221,986
380	1,840,762.14	Nivel 2	\$ 7,530,043,127
220	1,880,163.24	Nivel 3	\$ 6,715,949,725
380	1,840,762.14	Nivel 3	\$ 6,575,208,876

Table 4: Diferencia de Potencia y Precio respecto al antes y después del cambio de motores.

Diferencia			
Voltaje	Potencia (kW)	Nivel	Ahorro (\$)
220	73242.77	Nivel 2	\$ 299,615,678
380	67603.42	Nivel 2	\$ 276,546,641
220	73242.77	Nivel 3	\$ 261,623,424
380	67603.42	Nivel 3	\$ 241,479,616

3.6. Tablas

3.7. Conclusión y recomendación

Según los datos adjuntos en la tabla [3], el costo total de cambiar los motores seleccionados bajo los criterios de cambio, es de \$ 461.610.292 Pesos colombianos, mientras que, el ahorro por año que conlleva ejecutar esta operación según la Tabla 4 para el nivel 2 a 220 V es de \$ 299,615,678, esto indica que, la inversión inicial de la compra de los motores se saldaría de forma total en 19 meses, además de esto, el tiempo posterior a esta fecha generaría ganancias a la compañía por disminución de costos operativos. Por otro lado, no solo cambiar los motores aportaría a una disminución de los costos, sino también, el hecho de tener un transformador que sea capaz de conectarse a la red de 44 KV, lo cual permitiría, ingresar en el nivel 3 de tarifas eléctricas, produciendo así, un ahorro al año de \$ 954.834.251,00 Pesos Colombianos. Todo esto se puede mejorar aún más, siempre y cuando el voltaje de operación aumente de 220V a 380V, permitiendo tener un ahorro de \$ 140.740.849 pesos Colombianos por año de operación.

Table 5: Potencias por planta antes del cambio de motores

Planta	Potencia Activa	Potencia Reactiva 220V	Potencia Reactiva 380V	Potencia Aparente 220V	Potencia Aparente 380V
Planta 1	171705.3782	84701.7789	84701.7789	225959.1979	225959.1979
Planta 2	262273.5776	107718.3466	107718.3466	322270.1499	322270.1499
Planta 3	282920.1217	129429.973	129429.973	360989.4961	360989.4961
Planta 4	187972.7945	82542.58132	82542.58132	236177.644	236177.644
Planta 5	351759.9247	138584.124	138584.124	425959.5918	425959.5918

Table 6: Potencias por planta después del cambio de motores

Planta	Potencia Activa	Potencia Reactiva 220V	Potencia Reactiva 380V	Potencia Aparente 220V	Potencia Aparente 380V
Planta 1	151640.9556	74756.33246	74756.33246	199498.7203	199498.7203
Planta 2	245232.0917	101041.7343	101041.7343	301666.6987	301666.6987
Planta 3	269780.3694	123329.5231	123329.5231	344127.5383	344127.5383
Planta 4	178982.2191	78531.65828	78531.65828	224814.9787	224814.9787
Planta 5	343699.7213	135318.4889	135318.4889	416111.7129	416111.7129

Table 7: Valores correspondientes al motor 1 de la planta 1.

Potencia (HP)	Eficiencia	Factor de carga máximo	Factor de potencia	Velocidad síncrona (RPM)	Velocidad real (RPM)
30	0.7	0.8	0.74	3600	3540

References

- [1] Publicación tarifas de mayo 2024 - epm (2024).
URL https://correoitmedu-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/samuelquiroz280631_correo_itm_edu_co/EfqwQKGA57REtnVj_92NG4gBdcX5xUIJ2MqKKo8Jk9WZGw?e=CJPuBQ
- [2] Especificaciones de motores antes del cambio.
URL https://correoitmedu-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/samuelquiroz280631_correo_itm_edu_co/EQRUX0cfg1dHhrZE9W7kqWk9aSHVsBVrCu41GjYesvDwA?e=J52B0N
- [3] Especificaciones de motores después del cambio, así como costos por mes, año, y tiempo de retribución.
URL https://correoitmedu-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/samuelquiroz280631_correo_itm_edu_co/Edg8f_vc85hLuB9YYEh912gBud5ZJjTd9BNLxeG01Px0GQ?e=kIBZ8i
- [4] Carpeta contenedora del notebook de python con todos los cálculos para todas las plantas.
URL https://correoitmedu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/samuelquiroz280631_correo_itm_edu_co/Et0wv18Yq7xBq1QWwI6jQUYB9KNVzD1NQHQSIdWvR1uLYg?e=Uanxa0
- [5] J. Rojas, C. Rodriguez, Lista de precios siemens - 2023 (2023).
URL https://correoitmedu-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/samuelquiroz280631_correo_itm_edu_co/EbhXLtyE-d1MkXrFc-aRi0oBN2s2g8K6wQuIVV87ezyg?e=IJ9w29